

**ÓPTIMA GESTIÓN DE LA DEMANDA PARA ESTACIONES DE RECARGA
DE
VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN MICRO-REDES INTELIGENTES.**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
ÓPTIMA GESTIÓN DE LA DEMANDA PARA ESTACIONES DE RECARGA DE
VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN MICRO-REDES INTELIGENTES.**

**AUTOR:
VERÓNICA ROSA VERGARA NARANJO**

**DIRECTOR:
EDWIN MARCELO GARCIA TORRES**

Quito, Julio 2017

Verónica Rosa Vergara Naranjo

**ÓPTIMA GESTIÓN DE LA DEMANDA PARA ESTACIONES DE RECARGA DE
VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN MICRO-REDES INTELIGENTES.**

Universidad Politécnica Salesiana
Ingeniería Eléctrica

Breve reseña historia e información de contacto:



Verónica Rosa Vergara Naranjo (Y'1992-M'05). Estudiante de Ingeniería Eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito. Áreas de interés: respuesta a la demanda, micro-redes, energía renovable y potencia.
vvergaran@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Edwin Marcelo García Torres (Y'1978 -SM10). Se graduó en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana y de Master en Gestión de Energía en la Universidad Técnica de Cotopaxi en 2016. Actualmente se encuentra trabajando para su doctorado en Ingeniería con la Universidad Pontificia Bolivariana. Área de interés: respuesta a la demanda, sistemas de automatización - Scada, microgrids, sistemas de energía renovable, generación distribuida y smart grid. Actualmente es miembro del Girei (Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes - Smart Grid Research Group).
egarcia@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2017 Universidad Politécnica Salesiana
QUITO-ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Edwin Marcelo García Torres declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación “*Óptima gestión de la demanda para estaciones de recarga de vehículos eléctricos en micro-redes inteligentes*” realizado por Verónica Rosa Vergara Naranjo, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Julio 2017



.....
Edwin Marcelo García Torres

Cédula de identidad: 1803087400

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Verónica Rosa Vergara Naranjo, con documento de identificación N° 1721353645, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor/es del trabajo de grado/titulación intitulado: *“Óptima gestión de la demanda para estaciones de recarga de vehículos eléctricos en micro-redes inteligentes.”*, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Verónica Vergara

Nombre: Verónica Rosa Vergara Naranjo

Cédula: 1721353645

Fecha: Julio 2017

INDICE GENERAL

Abstract	1
1. Introducción	2
1.1 Vehículos eléctricos	2
1.2 Afectación de los vehículos eléctricos en la red de distribución.	3
1.3 Fuentes de energía alternativas.	4
2. Marco Teórico	6
2.1 Micro-redes eléctricas	6
2.2 Energía Fotovoltaica	7
2.3 Almacenamiento de energía en baterías.....	8
2.4 Red eléctrica de distribución con vehículos eléctricos	10
2.5 Estaciones de recarga para vehículos eléctricos.....	10
2.6 Gestión de la energía.....	11
3. Modelamiento	12
3.1 Cálculos de las fuentes de energía	12
3.2 Aleatoriedad demanda de vehículos eléctricos	13
3.3 Despacho mediante heurística usando programación lineal	14
3.4 Seudocódigo.....	15
4. Análisis de resultados.....	16
4.1 Demanda electrolinera.	16
4.2 Casos de estudio verano e invierno.....	17
1) Resultados del caso de estudio en verano.....	17
2) Resultado del caso de estudio en invierno	19
5. Conclusiones	20
6. Referencias	21
6.1. Estado del Arte.....	25

INDICE DE FIGURAS

Figura 2. Potencia máxima de panel solar según la radiación	8
Figura 3. Curva de Carga y descarga del banco de baterías.....	9
Figura 4. Demanda base estación de recarga de vehículos eléctricos.	10
Figura 5. Flujograma heurística de despacho.....	12
Figura 6. Aleatoriedad de vehículos eléctricos	16
Figura 7. Demanda Total electrolinera.....	16
Figura 8. Despacho óptimo de energía - caso de estudio verano	18
Figura 9. Liberación de energía a la Red eléctrica de distribución en verano	18
Figura 10. Despacho óptimo de energía - caso de estudio invierno.....	19
Figura 11. Liberación de energía a la Red eléctrica en invierno.....	20

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Eficiencias de celdas fotovoltaicas	7
Tabla 2: Marca de vehículos eléctricos con las potencias de las baterías y corrientes de carga	11
Tabla 3: Precios de cada fuente de energía de la estación de recarga.	12
Tabla 4: Heurística con programación lineal.	15
Tabla 5.- Matriz de estado del arte.....	25
Tabla 6.- Resumen e Indicadores del estado del arte	28

ÓPTIMA GESTIÓN DE LA DEMANDA PARA ESTACIONES DE RECARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN MICRO-REDES INTELIGENTES.

Resumen

En el presente documento, se considera la inserción de los vehículos eléctricos (EVs) como alternativa para reducir la emisión de gases de efecto invernadero, por este motivo es necesario analizar las estaciones de recarga de vehículos eléctricos para mitigar el ingreso de nueva carga en horas pico de demanda eléctrica del país, realizando una óptima gestión de la demanda utilizando energías no convencionales. Mediante seis bahías para carga simultánea en cada estación de recarga se pretende aprovechar la radiación solar de la ciudad de Quito para producir energía fotovoltaica, así como también almacenar su excedente en bancos de baterías. Al gestionar una demanda con incertidumbre en cada estación de recarga, se realizará cada hora un óptimo despacho de la energía en dos escenarios distintos invierno y verano, tomando en cuenta las capacidades máximas y mínimas como también los costos de cada fuente de energía mediante una heurística con programación lineal dando prioridad a la generación distribuida generada en cada estación de recarga dejando como última opción el abastecimiento con energía de la red de distribución, de esta manera se mitigaría el ingreso de carga de las baterías de los vehículos eléctricos.

Palabras Clave: Estaciones de recarga, Energía fotovoltaica, Micro-redes, Respuesta a la demanda, Vehículos eléctricos.

Abstract

At the present paper, the insertion of electric vehicles (EVs) is considered as an alternative to reduce the emission of greenhouse gases, for this reason it is necessary to analyze the charging stations of electric vehicles to mitigate the entrance of new load in hours Peak of electrical demand of the country, realizing an optimal management of the demand using unconventional energies. Through six points for simultaneous charging at each recharging station, taking advantage of solar radiation in the city of Quito for photovoltaic energy production, as well as storing its surplus at storage batteries. When managing a demand with uncertainty in each recharging station, an optimum dispatch of energy will be performed every hour in two different scenarios winter and summer, taking into account the maximum and minimum capacities as well as the costs of each energy source through a heuristic with Linear programming giving priority to the distributed generation generated in each recharging station leaving the last option the supply with power of the distribution network, in this manner it mitigates the charge of the batteries of the electric vehicles in rush hours.

Keywords: Charging stations, Demand Response, Electric vehicles, micro-grids, Photovoltaic power.

1. Introducción

El desarrollo de nuevas tecnologías para beneficiar al medio ambiente han recibido un gran apoyo en los últimos años, debido al aumento considerable del calentamiento global por la emisión de gases de efecto invernadero y el agotamiento de recursos fósiles [1][2][3]. Son las principales razones del desarrollo de los vehículos eléctricos (EVs) [4] como solución alternativa ante los problemas mundiales mencionados, además que los vehículos eléctricos dependen de factores externos como lo social, económico y tecnológico tanto en su demanda como en la oferta [5][6]–[8]. El transporte es un sector con mayor responsabilidad de la emisiones de gases contaminantes, este sector es dependiente en su totalidad del petróleo [9][10]. El 62,3% del petróleo en el año 2011 fue destinada para el transporte lo que causo 6892 Mt de CO₂ liberadas a la atmosfera, esta dependencia y falta de alternativas conlleva varios conflictos entre los cuales están el cambio climático, problemas económicos, geopolíticos e inestabilidad de los países petroleros [11][12]–[14].

Alternativas para disminuir la dependencia que se tienen por los combustibles que provienen del petróleo están los vehículos híbridos y los biocombustibles. Según [15] el etanol que se produce a partir de la caña de azúcar ya es competitivo con relación a los combustibles tradicionales y que una segunda generación de etanol se puede fabricar ya en un futuro cercano. La reducción de gases de efecto invernadero con el uso de biocombustibles es notable cuando este se produce de una manera sostenible, el inconveniente son los costos altos [15].

1.1 Vehículos eléctricos

Las grandes ciudades crecen de manera acelerada en extensión y cada día se complica la movilidad en ellas. Aumentando las trayectorias de

movilidad por lo cual es importante disponer de transporte sostenible y amigable con el medio ambiente.

Los vehículos eléctricos se ha posicionado como la solución más realista del momento para poder tener un cambio realmente importante [9][16]. Contribuyen con una menor cantidad significativa de carbón al medio ambiente que los vehículos de combustión interna o también conocido como vehículos tradicionales que tienen una dependencia de los combustibles fósiles [17]. Los EVs ayudan para lograr tener un transporte sostenible utilizando energía limpia, a su vez contribuyendo con el medio ambiente mediante la reducción de los gases de efecto invernadero y seguridad energética ya que los vehículos eléctricos utilizan electricidad la cual es generada la mayoría de las veces mediante fuentes naturales [18]. Además el uso de los EVs disminuye 2.3 toneladas de dióxido de carbono que es uno de los gases principales del efecto invernadero si los reemplazáramos con los vehículos de combustión interna [18][19], [20].

Los vehículos eléctricos han recibido una atención considerable en los últimos años como una alternativa ecológica y rentable sobre los vehículos de combustión interna [21]. Una breve comparación entre los vehículos tradicionales y los vehículos eléctricos se podría mencionar que los EVs reducen el consumo de petróleo lo que se traduce a una disminución en los gases de efecto invernadero en función de la combinación de la generación de electricidad, mejora la calidad del aire de las ciudades y la salud pública, el transporte es más eficiente y se pueden integrar las fuentes de energía primaria con las fuentes de energía localmente disponibles [11]. No obstante hay que tener en cuenta que la eficiencia de un vehículo eléctricos esta entre el 80-90% frente a un 20-30% de un vehículo de combustión interna. Los EVs además de

ser más eficientes como se mencionó son más sencillos en la parte mecánica que los vehículos tradicionales refiriéndose al motor, sistemas de refrigeración, cajas de cambio o embrague ya que los vehículos eléctricos no poseen nada de lo anterior mencionado y por consecuencia son menos complejos [19], [22]. Cabe acotar que un vehículo eléctrico se considera un automóvil que está equipado por un motor eléctrico, el mismo que está conformado por una batería recargable según sus características técnica que disponga [9]. Los vehículos eléctricos se han expandido durante los últimos años en países desarrollados [23], en nuestro país están incursionando y es la gran alternativa para contribuir con disminuir considerablemente la contaminación en grandes ciudades como Quito y de esta manera aprovechar el gran apogeo de la producción de energía limpia como son las hidroeléctricas.

Compañías fabricantes de automóviles como Renault, Nissan, Kia y General Motors ya han comenzado a desplegar vehículos eléctricos como parte de sus líneas de producción prometiendo expandirse rápidamente dentro de este mercado a nivel mundial, dando así el paso a un cambio de tecnología.

1.2 Afectación de los vehículos eléctricos en la red de distribución.

La creciente demanda de los EVs en el mercado eléctrico impulsa a desarrollar mecanismos más eficientes para coordinar la nueva carga y el impacto que esta va a tener en la red eléctrica de distribución [24] [25]. La curva eléctrica de demanda diaria va sufrir modificaciones especialmente en los picos máximos de consumo en horas críticas del día por lo que se va a tener la necesidad de incrementar la generación de energía y realizar cambios en la infraestructura del sistema de distribución o a su vez se debe buscar alternativas para minimizar el impacto

sobre la red eléctrica. Con lo expuesto anteriormente si los picos de carga crecen en horas de alto consumo esto conlleva a incrementar por un lado los costos para la generación de energía que cubrirá el incremento de demanda y por otro lado también crecerán las emisiones de CO₂ en el caso que las generadoras sean termoelectricas, esto se lo puede evitar con un manejo de la carga adecuada en las estación de recarga para los vehículos eléctricos [20][26][28][29].

Años atrás uno de los grandes impedimentos para el avance tecnológico de los vehículos eléctricos era la capacidad de almacenamiento y la eficiencia de sus baterías, ya que antes el combustible a base de petróleo superaba altamente a las baterías de lo EVs. Con el desarrollo de la tecnología hoy en día las baterías de litio son de 0.16 kWh/kg en comparación con la gasolina que tiene 13 kWh/kg, es decir son mucho más eficientes. La vida útil del vehículo eléctricos es el tiempo que dure su batería, la cual es aproximadamente unos 15 años soportando entre 2000 y 3000 recargas [9] [29] [30].

Se espera que el usuario lleve a cabo la carga de su vehículo eléctrico en sus domicilios durante horas nocturnas pero también hay una alta probabilidad que cargue la batería del vehículo en horas de trabajo, en centro comerciales o en espacios públicos destinados para la carga de los vehículos en cualquier horario del día según sea la conveniencia del cliente [31], dicho lo anterior se necesita una correcta planificación para su correcto crecimiento de esta nueva tecnología que está tomando cada vez más terreno.

Con la integración al mercado de los vehículos eléctricos se ve necesaria la implementación y el estudio de estaciones de carga o electrolineras que son de vital importancia para la penetración en el mercado de los EVs [1] [32]. Para lo cual se debe tener una

planificación adecuada de la nueva demanda que se espera abastecer, la misma que va a ingresar al sistema de distribución y proveer el aumento que esta va a tener en el futuro.

El nuevo elemento que se integra al sistema de energía eléctrica está llevando a realizar diversos análisis, la mayoría de los estudios se centran en cómo se vería afectada la producción de energía eléctrica con la presencia de este nuevo elemento que es el vehículo eléctrico [9]. La nueva carga no controlada generada por los EVs conlleva a un efecto negativo en el sistema de energía [18], ya que muy pocos lugares de la red eléctrica pudiera manejar altas potencias demandadas por la inserción de los vehículos eléctricos, en consecuencia se debía mejorar la infraestructura de la red de distribución para suministrar la nueva carga que ingresaría en los distintos puntos [4] [33]. A su vez esto también puede conducir a un sobrecalentamiento de los componentes de la red como son los transformadores reduciendo su vida útil, adicionalmente significaría un impacto negativo en el funcionamiento adecuado de la red eléctrica como interrupciones o fluctuaciones fuera de rango de voltaje.

La carga no coordinada puede también presentar congestión en puntos estratégicos del sistema eléctrico afectando la calidad y fiabilidad del sistema [5], es por ellos que se propone una integración de fuentes de generación no convencionales como es la energía solar, bancos de baterías y el sistema de distribución para un manejo adecuado en la infraestructura de recarga de los vehículos eléctricos [34].

Lo expuesto anteriormente las empresas distribuidoras tendrían que plantearse posibles soluciones como un rediseño o reestructuración de su infraestructura en puntos eléctricos más importantes que van hacer afectados, eso implica un incremento de precio en los suministros de energía.

1.3 Fuentes de energía alternativas.

Las principales fuentes de energía que no son renovables tales como el petróleo o el gas tarde o temprano se agotarán, por esta razón se debe buscar fuentes alternativas para cubrir las necesidades energéticas como son las fuentes renovables [9][35][36].

El principal factor para la generación de energía fotovoltaica es el sol, el cual es una esfera con una alta temperatura de material gaseoso, este recurso natural que se lo está viendo desde un punto de vista como una fuente potencial de energía renovable que se la puede utilizar con diferentes propósitos con el gran objetivo de disminuir el consumo de combustibles fósiles [16], según el panel intergubernamental sobre el cambio climático (CIPF) la energía solar puede operar directamente en tres bloques importantes: el primer bloque solar pasiva donde se encuentra la arquitectura bioclimática, el segundo bloque solar activa que corresponde la calefacción y refrigeración solar y el último bloque solar fotovoltaica que es dedicado para la producción de electricidad [16][37].

Los sistemas fotovoltaicos como se sabe convierte la luz que llega desde el sol en energía eléctrica, estos sistemas es una de las tantas aplicaciones que se tiene para mitigar el impacto de la carga de los vehículos eléctricos, es decir, recargar las baterías de dichos vehículos con la energía de este tipo de sistemas [38][39]. La energía renovable que nos permite obtener los sistemas fotovoltaicos es una solución para evitar sobrecargar la red de distribución eléctrica con la carga diurna en horas de alta demanda [40] y de esta manera lograr una integración eficiente. La energía fotovoltaica es una de las opciones de energía más sostenibles y con una sencillez para la generación de energía eléctrica por sus niveles de alta eficiencia. La desventaja que viene con este tipo de generación es su intermitencia natural, es por ello que se utilizan baterías para el almacenamiento

de energía [41]. De esta manera se combinan convirtiéndose en independientes de las fluctuaciones de potencia en la salida de las fuentes fotovoltaicas [4][42].

Los vehículos eléctricos necesitan de un combustible para su funcionamiento, que en este caso es la electricidad es por ello que con la incursión de la nueva era tecnológica de vehículos que nos está llegando mediante las grandes concesionarias debemos satisfacer la demanda de recarga de energía que dichos vehículos eléctricos generan, en este trabajo se propone que las estaciones de recarga o electrolineras dispongan de energía de renovable para abastecer la demanda en especial en horas críticas de alto consumo de energía eléctrica de modo eficiente para el sistema eléctrico.; así evitaremos introducir cargas nuevas y causar problemas a los sistemas de distribución de las ciudades.

Con fin de mitigar el impacto de los vehículos eléctricos en la red de distribución se propone que en cada electrolinera se tendría un sistema fotovoltaico y un banco de baterías para abastecer un porcentaje de la demanda diaria que tenga la estación de carga, se realizaría un despacho preferente a la energía renovable generada por el panel

solar en la estación cuando esté disponible, posteriormente se despacharía a la energía almacenada en el banco de baterías y al final recurrir a la energía de la red eléctrica del país.

El despacho de energía se lo realizaría cada hora, tomando en cuenta la disponibilidad de energía del panel y la capacidad de carga y descarga del banco de baterías; dicho análisis se lo hace en dos escenarios en verano y en invierno desde el punto de vista de la cantidad de radiación solar de la ciudad de Quito.

En este trabajo se formula diferentes casos durante cada hora del día, es decir habrán 24 situaciones distintas, una de ellas son las cargas de vehículos eléctricos que ingresaran de forma aleatoria, las cuales son adaptadas a las limitaciones de los tres sistemas propuestos en la estación de recarga basados en los diferentes precios y capacidades de cada uno de los sistemas que son la fuente fotovoltaica, el banco de baterías y la red eléctrica.

En esta investigación se preferirá utilizar la energía distribuida generada en la cada estación de recarga cuando esta esté disponible y recurrir a la red eléctrica cuando exista déficit de energía en la estación, es decir como último recurso; sin embargo es difícil de predecir en este caso la cantidad de radiación solar que va

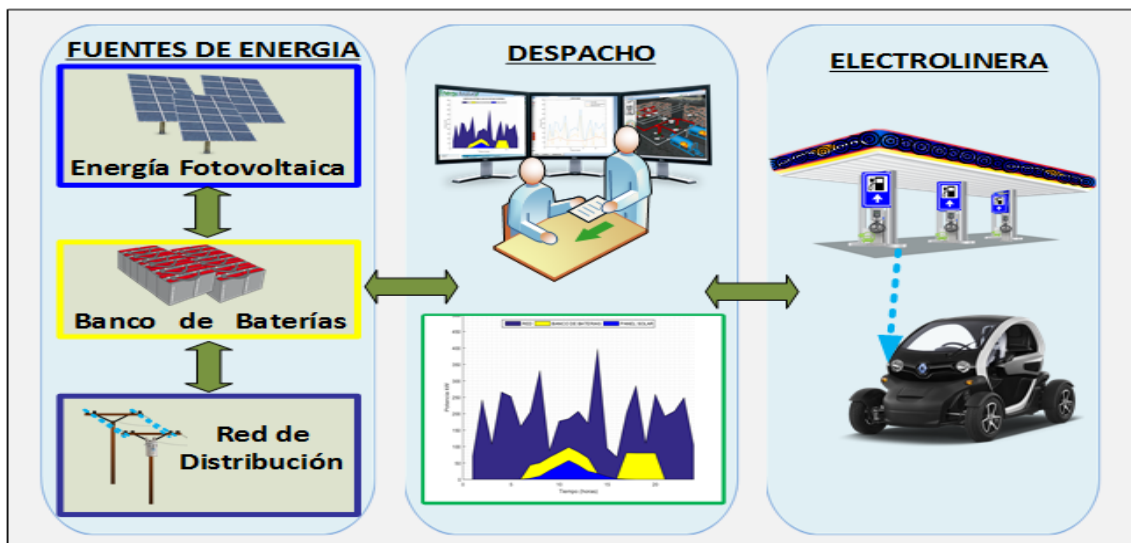


Figura 1. Gestión óptima de la energía en una electrolinera.

a presentar de cada día. Las energías renovables dependen de condiciones de micro climas que son volátiles [43], entonces es un desafío mantener la carga disponible en las estaciones de recarga cuando la demanda de carga de los vehículos eléctricos está bajo alta incertidumbre.

Mediante las seis estaciones de carga simultaneas que posee la estación de recarga, se despachara primero la energía fotovoltaica posteriormente la energía almacenada en las baterías y luego la energía de la red de distribución realizando una gestión optima de la energía como se puede observar en la Figura 1.

El modelo presentando en este trabajo es mediante una heurística con programación lineal la cual permitió realizar un despacho para el manejo óptimo de la energía en una estación de recarga de baterías para los vehículos eléctricos con el objetivo de minimizar los posibles problemas ante el ingreso de la nueva carga en el sistema de distribución.

El presente trabajo se estructura de la siguiente forma: en la Sección 3 se detalla el modelo matemático y luego aplicar un método de solución mediante simulaciones para publicar los resultados utilizando gráficos en la sección 4 y finalmente en la sección 5 llegar a tener varias conclusiones establecidas bajo el análisis del estudio realizado.

2. Marco Teórico

La contaminación no solo es mediante los gases nocivos para el medio ambiente sino también el nivel de ruido y vibraciones que producen los vehículos de combustión internas, por el otro lado los vehículos eléctricos reducirían notablemente la contaminación auditiva y del aire mejorando la calidad de vida en las grandes ciudades.

Los vehículos eléctricos como tal no contamina pero la generación de energía eléctrica para cubrir su demanda si emite

gases contaminantes, lo ideal es producir energía con fuentes renovables.

2.1 Micro-redes eléctricas

Una micro-red (MR) eléctrica es una pequeña red flexible para la integración confiable y de forma masiva al conjunto de generaciones distribuidas a un nivel bajo en tensión, estas fuentes de energía suelen ser renovables como la fotovoltaica y las turbinas eólicas; las cuales son tecnologías bajas en emisión de gases contaminantes. Sin embargo la integración entre el sistema de almacenamiento mediante baterías con las micro-redes es necesaria ya que son los principales responsables de una compensación para un balance energético.

Los sistemas fotovoltaicos son ampliamente utilizados en las micro-redes debidos a que tiene una instalación sencilla, los costos se disminuyen y contribuyen con el medio ambiente [44][3].

Las micro-redes eléctricas que están equipadas con sistemas de generación con energía renovable a pequeña escala están surgiendo cada día progresivamente como alternativa para mejorar la red eléctrica de distribución con la finalidad de realizar la asignación eficaz de la demanda de energía y la gestión de la energía distribuida [45].

Hoy en día lo más acertado en el tema es la tener micro-redes localizadas, es decir utilizando pequeñas fuentes de energía en los lugares donde se necesite la electricidad. A través de esta forma de generación se reduce pérdidas y flujos de energía en las redes de distribución.

En esta investigación la carga de los vehículos eléctricos mediante energía fotovoltaica y banco de baterías conectadas en una MR.

Las micro-redes en cada estación de recarga para baterías de los vehículos eléctricos es de tipo solar, además se dispone de un banco de baterías y conexión a la red eléctrica de

distribución cuando se agoten los dos primeros recursos.

2.2 Energía Fotovoltaica

La generación eléctrica desde concentradores solares mediante altas temperaturas es un método inspirado en la fotosíntesis, cuando la radiación solar llega a la célula fotovoltaica los electrones se mueven generando corriente eléctrica. Las celdas que integran los paneles solares utilizan el efecto denominado fotovoltaico el cual sucede cuando la energía luminosa produce cargas positivas y negativas en semiconductores los cuales están cerca produciendo campo eléctrico y adquiriendo la capacidad de generar corriente [38].

Los países que están situados en la región ecuatorial que presentan un clima tropical generalmente experimentan grandes cantidades de sol diario a lo largo de todo el año ya que no experimentan el cambio estacional cada tres meses. Esto representa una ventaja para la continua y la utilización de la energía solar para generar electricidad mediante el efecto fotovoltaico [46].

La energía fotovoltaica es una energía renovable donde se convierte la energía del sol en electricidad [38]. Actualmente dicha forma de generar energía tiene un desarrollo notable ya que es un alternativa económicamente viables, contribuye ambientalmente, posee una alta confiabilidad, tiene un bajo mantenimiento y no genera desperdicios; por otro lado su desventaja es tiene un alto costo en su instalación pero se compensa en los bajos costos de mantenimiento.

Los precios de las células fotovoltaicas han disminuido gracias al desarrollo de otras tecnologías lo que hace más rentable el uso de la energía fotovoltaica [16].

En la tabla 1 se muestra las eficiencias de las principales celdas fotovoltaicas, así como también sus principales

diferencias entre las celdas y su estructura cristalina que tienen.

Tabla 1: Eficiencias de celdas fotovoltaicas [38]

Eficiencia de celdas fotovoltaicas	
Monocristalina	12 al 15%
Policristalina	11 al 14 %

El sistema como tal se compone de paneles fotovoltaicos que son células fotovoltaicas que generan energía a través de la luz solar, un inversor de corriente continua en corriente alterna, baterías y controlador de carga; este sistema regula la frecuencia de la red y tiene un índice bajo en armónicos [16] los sistemas fotovoltaicos tiene una vida útil aproximadamente de 30 años por lo que es importante seleccionar los tipos de materiales tanto de los paneles solares como el de las baterías para conformar el banco de baterías.

El planeta Tierra se encuentra a 1.5×10^8 de kilómetros del sol y es alcanzada por dos tipos de radiación. El primer tipo de radiación es directa, es cuando los rayos llegan sin desviación y se propagan como rayos paralelos; el segundo tipo es la radiación difusa que es cuando los rayos solares ingresan a la superficies terrestre después de haber sufrido cambios en la trayectoria inicial ya sea por causa de las nubes o por la atmosfera. En los paneles solares la radiación directa es significativa para para generación de energía eléctrica [16].

Para la correcta captación de la energía del sol es importante la correcta colocación de los paneles solares ya que depende de la zona geográfica donde se encuentre ubicado el emplazamiento [40].

Cuando se pretende generar energía eléctrica a partir de la radiación solar por medio del efecto fotovoltaico hay que evitar de cualquier forma el denominar efecto sombra el cual se

manifiesta cuando se cubre temporalmente la superficie del panel solar es decir donde se capta la radiación del sol [38]. La cantidad de horas de sol es un factor de mucha importancia al momento de generar energía eléctrica ya que la radiación solar solo es captada durante cierto tiempo como se muestra en la Figura 2. La cantidad de horas de sol están entre 3 y 7 horas diarias que depende en función de mes se encuentre la electrolinera, ya que si se encuentran en meses con bastante radiación solar la generación de energía va hacer diferente con respecto a los meses con poca radiación solar.

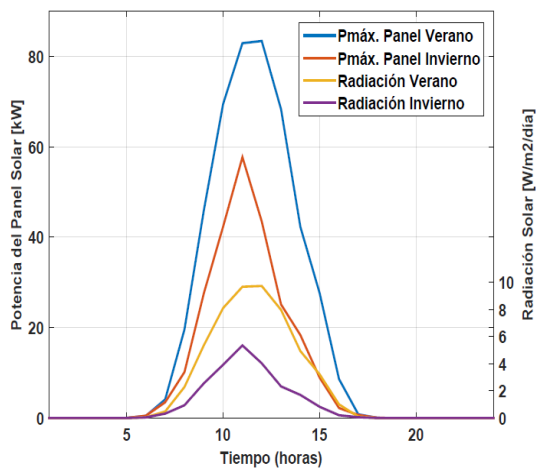


Figura 1. Potencia máxima de panel solar según la radiación

En la Figura 2 se puede apreciar claramente que la radiación solar varía considerablemente en los escenarios propuestos que son verano e invierno y por consecuencia la generación de energía eléctrica también se ve afectada en la estación de carga.

Así mismo en la Figura 2 se puede observar que la radiación solar en verano empieza a las 8am y termina a las 4pm teniendo 8 horas de radiación solar y generación de energía eléctrica para abastecer la carga de las baterías de los vehículos eléctricos; por el otro lado la radiación solar solo llegan a 5 horas, teniendo un máximo a las 11am. Durante el invierno la producción de energía eléctrica por el panel se disminuye por lo

que se necesitara recurrir al flujo de energía eléctrica de la red de distribución y la afectación en la curva de demanda será mayor que en verano.

Los datos de radiación solar de la Figura 2 corresponden a la Ciudad de Quito obtenidos de períodos marcados de invierno y verano que experimenta la ciudad. Los períodos de invierno corresponde a días nublados y lluvioso, mientras que los períodos de verano son días soleados [47].

2.3 Almacenamiento de energía en baterías

Las baterías o también llamados acumuladores son dispositivos capaces de acumular energía mediante procesos electroquímicos. El comportamiento de las baterías depende básicamente del material que esté compuestos. De acuerdo con [38] las batería de plomo-ácido son las más utilizadas para almacenar la energía generadas por los paneles solares.

Las baterías de plomo-ácido son recargables, para uso comercial, están formados por unas placas de plomo que se encuentran en el ácido sulfúrico y electrodos. Las ventajas que tienen es que brindan un servicio fiable, mantenimiento mínimo y característica de auto-descarga más baja de las baterías recargables que existen en el mercado [38]. En el entorno de las baterías a las de plomo-ácido que tienen bajo nivel de antimonio las llaman estacionarias, este tipo de baterías son una buena opción para los sistemas de energía fotovoltaicos. La principal diferencia entre las batería de plomo-ácido normal y las de plomo-ácido bajo en antimonio es la auto-descarga ya que en las convencionales tienen un 20% de descarga frente a un 3% en la batería de plomo-ácido estacionarias [48].

Una batería tendría una eficiencia ideal del 100% pero lo real es menor ya que no se considera las pérdidas que tenga la batería ya sea por la temperatura o del

material que está conformada. La auto descarga sucede cuando no está en continuo funcionamiento y pierde carga por el paso del tiempo y también por la variaciones muy altas de temperaturas. La eficiencia de carga o descarga de la batería es un parámetro que indica la cantidad de carga que posee, generalmente esta expresado en porcentaje; mientras que el estado de carga (SOC) de la batería es la capacidad disponible que tenga [48].

La función principal del banco de baterías en un sistema fotovoltaico es la de acumular la energía generada y utilizarla en periodos donde la radiación sea nula o horas con una alta demanda de carga de vehículos eléctricos, tanto el banco de baterías como el sistema fotovoltaico normalmente trabajan conjuntamente.

La capacidad de almacenamiento que tiene una batería depende de su velocidad para la descarga, es decir cuanto mayor es el tiempo que la batería se descarga mayor será la cantidad de energía que entregue [49].

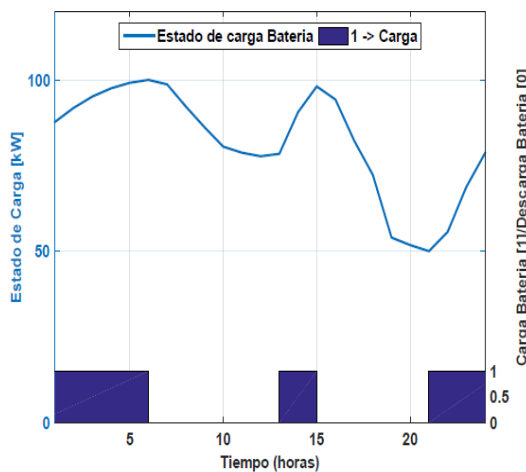


Figura 2. Curva de Carga y descarga del banco de baterías

La descarga profunda se entiende como el nivel máximo que la batería puede descargarse para desconectarse para evitar reducciones en su vida útil. En los sistemas fotovoltaicos generalmente no se tiene como fin descargas agresivas de su banco de baterías por el contrario se

busca una descarga progresiva, es por ello que las baterías de la electrolinera dispondrán de tiempo de carga y descargue durante el día para tener abastecidas para el funcionamiento en horas pico. La curva de carga y descarga del banco de batería de la estación de recarga se indica en la Figura 3.

El banco de baterías tendrá un comportamiento de descarga en las horas de la mañana solo del 40 por ciento, en dicho porcentaje se encuentra tomado en cuenta las pérdidas que las baterías tienen. Durante las horas de la mañana cubrirá la demanda aleatoria de recarga de los vehículos eléctricos, de esta manera las baterías cubrirán las horas donde los paneles solares no generen por motivo de la baja incidencia de radiación solar. Posteriormente las baterías entraran en un proceso de carga durante las tres próximas horas para garantizar una carga total del banco de baterías para las horas picos de la curva de demanda de energía eléctrica del país, por otro lado durante la carga del banco de baterías los paneles solares están funcionando a su máxima potencia ya que la radiación alcanza niveles altos como se indica en la Figura 2.

A partir de las 16h00 la demanda empieza a incrementar en la curva de demanda por lo que las baterías estarán cargadas a su máxima capacidad e ingresar a su funcionamiento con característica de descargue para evitar que ingrese la carga en las horas con picos máximos en la red eléctrica. En horario nocturno las baterías empiezan un proceso de carga alimentados por la red eléctrica, tomando en cuenta que la demanda es muy baja y el ingreso de carga beneficiaria a la curva de demanda de manera que dicha carga aplanaría la curva de demanda.

La capacidad total del banco de baterías es de 100 kW para cubrir la demanda de recarga de las baterías de los vehículos eléctricos. Además en la figura 3 se observa que cuando las baterías están en

proceso de carga están en 1 y cuando el proceso de las baterías está en 0 se encuentra en descarga. Las baterías se van a carga con el excedente de energía fotovoltaica cuando esta esté disponible, es decir en horas de la mañana y tarde donde existe niveles adecuados de radiación y en las horas de la noche y madrugada las baterías se cargaran mediante la energía de la red eléctrica.

2.4 Red eléctrica de distribución con vehículos eléctricos

La llegada de los vehículos eléctricos a Ecuador estaría de la mano con el incremento de la potencia instalada gracias a nuevo proyectos energéticos y conjuntamente con el desarrollo de nuevos incentivos. El apoyo a nuevas tecnologías que mediante una legislación avale dicho proceso y capacitaciones para una fabricación y servicio mantenimiento lo que brindara trabajo y avance tecnológico en el país. Actualmente se comercializa vehículos eléctricos en concesionarias como Kia, Chevrolet o Renault.

Una de la alternativas como ya se mencionó anteriormente para la seguridad energética es el vehículo eléctrico por lo que la red eléctrica especialmente la de distribución deberá ser más robusta para soportar la carga que será integrada por medio de las estación de recarga de los vehículos eléctricos.

Las estación de recarga tienen su propia curva de demanda característica donde se estipulan las cargas de iluminación de la estación, refrigeración, fuerza, espacio de ocio para los clientes que lleguen a recargar las baterías de los vehículos eléctricos, locales comerciales y anuncios que dispone una estación de servicio. Dicha curva de demanda es la curva base para nuestro caso de estudio en esta investigación como se muestra en la Figura 4.

El incremento en la demanda de energía eléctrica provoca ineficiencia en el

sistema energético del país, incrementando gastos operativos en la expansión de nuevas redes y construcción de nuevas generadoras, por ellos que la gestión de la demanda de energía es importante para mantener los índices de calidad de energía dentro de los parámetros adecuados.

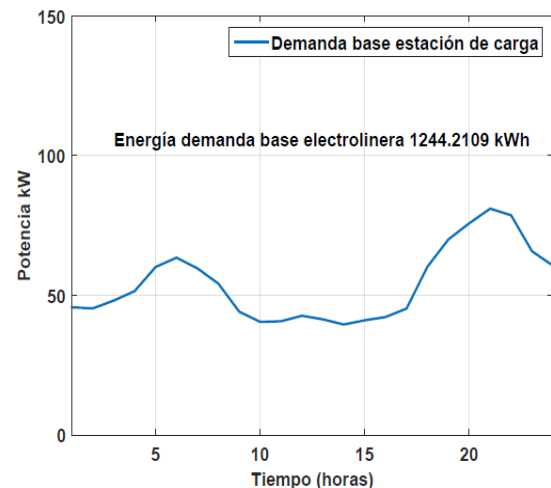


Figura 3. Demanda base estación de recarga de vehículos eléctricos.

2.5 Estaciones de recarga para vehículos eléctricos

El concepto de electrolineras es la idea de tener una estación que brinde el servicios para la recarga de las baterías de los vehículos eléctricos en cuestión de minutos o también cambiar por una batería que tenga un estado de carga completa.

Las estaciones de recarga o electrolineras pueden ser de dos tipos, las estaciones donde se recarga el vehículo mediante un cambio de batería y las estaciones de recarga rápida. Con respecto a las estaciones que se realiza un cambio de batería se necesita tener un estándar de baterías para tener en stock para que los usuarios tengan la facilidad de intercambiar las baterías de sus vehículos con facilidad y sin tener contratiempos, este es el inconveniente con este tipo de estaciones de recarga que no se tiene una estandarización con las baterías de los vehículos [9]. Por el otro lado las estaciones de recarga rápida son aquellas donde el usuario llega con

su vehículo y lo conecta directamente, este tipo de estaciones tienen el principio de las gasolineras de hoy en día con la diferencia que los usuarios acuden a las gasolineras en busca de combustible mientras que en las electrolineras los usuarios irían en busca de energía eléctrica [9].

El problema con este tipo de estación es que como se maneja potencias altas en un punto de la red de distribución causa inconvenientes en su infraestructura.

Las estaciones de recarga para los vehículos eléctricos están normados bajo los estándares de la IEC 61851 e IEC 62196 [50], donde proporcionan una clasificación de los cargadores en función de la potencia nominal y el tiempo de recarga de los vehículos eléctricos.

La IEC 61851-1 definió cuatro modos de carga; el primer y el segundo modo es de carga lenta desde un tomacorriente doméstico lo que se diferencia del primero con el segundo es que en el último caso se utiliza una protección en el cable, el tercer modo la carga puede ser de igual forma lenta o rápida pero se utiliza un zócalo para cumplir las funciones de control y protección, mientras que el último modo, el cuarto, es netamente de carga rápida en corriente continua usando un cargador externo, dentro de este último modo hay submodos de corriente continua (CC).

El nivel de CC1 tiene una tensión inferior a los 500 Voltios, su corriente debe ser inferior a 80 Amperios y potencia es de 40 kW; en el nivel CC2 tiene un voltaje que debe ser de igual forma inferior a los 500 Voltios, su corriente debe ser inferior a 200 Amperios y potencia es de 100 kW [50] [51].

Además en dichos estándares clasificaron los tomacorrientes indicados para la carga de los vehículos eléctricos. El primer tomacorriente es monofásico, el segundo tipo de tomacorriente es así mismo monofásico y trifásicos hasta 63

A. para cada fase según sea el tomacorriente instalado y el último puede ser 3a con características monofásicas hasta 16 A. o tipo 3c trifásico con obturador [50].

2.6 Gestión de la energía

La gestión de la energía en este trabajo enfocado en una electrolinera se lo realizó mediante un despacho utilizando programación lineal, la cual optimiza los recursos disponibles y generados.

Para el despacho se consideró las cargas de los vehículos eléctricos más comerciales a nivel mundial para tener un universo completo para modelar bajo una demanda con incertidumbre.

En la tabla 2 se puede observar las potencias de las baterías y las corrientes de cada uno de los vehículos eléctricos que podrían ser los clientes en la estación de servicio.

Tabla 2: Marca de vehículos eléctricos con las potencias de las baterías y corrientes de carga

Marca de vehículo eléctrico	Potencia kWh	Corriente kA
Audi E-tron	95	0.1439
BMW i3	22	0.0333
BYD E6	54	0.0818
Chevrolet Volt	16	0.0242
Ford focus	23	0.0348
Hyundai Ioniq	28	0.0424
KIA Soul	27	0.0409
Mercedes SLS AMG	60	0.0909
Mitsubishi i-MiEV	16	0.0242
Nissan Leaf	24	0.0364
Opel Ampera	16	0.0242
Peugeot iOn	14.5	0.022
Peugeot Partner	22.5	0.0341
Renault Kangoo ZE	24	0.0364
Renault Twizy	6.1	0.0092
Tesla Model III	90	0.1364
Tesla Roadster	53	0.0803

La gestión de la energía en la electrolinera se lo va a realizar mediante

una heurística utilizando programación lineal para la asignación correcta de la energía. La programación lineal es una optimización matemática que está dedicada a la maximización o minimización de un objetivo que lo llamaremos función objetivo, este tipo de programación utiliza las variables que están sujetas a dicha función objetivo que a su vez están relacionadas a las restricciones correspondientes al sistemas. Las restricciones se las expresa en ecuación o también en inecuaciones. En la tabla 3 se detallan los precio de cada una de las fuentes de energía de la electrolinera, dentro de los costos se desglosa el pago por potencia, el costo de la energía y por último los gastos de la estación de recarga.

de recursos energéticos utilizando programación lineal, donde se indica la manera que se realizó para asignar las energías en cada horario.

Tabla 3: Precios de cada fuente de energía de la estación de recarga.

Costo c.USD/Kw			Tipo de energía
Potencia	Energía	Electrolinera	
2.025	0.001	1.414	Fotovoltaica
2.025	0.001	1.414	Banco Baterías
4.05	0.0046	2.828	Red Eléctrica

3. Modelamiento

Para realizar el modelamiento matemático de gestión de las energías de la estación de recarga se tiene que considerar la posible aleatoriedad de los vehículos que puedan llegar, los diferentes costos correspondientes a cada fuente de energía como se detalla en la tabla 3, las capacidades mínimas y máximas de cada una de las energías. Todo va asociado a la radiación solar de cada hora y la carga que se tenga que despachar.

3.1 Cálculos de las fuentes de energía

1) Cálculo de la Energía generada por el panel

La base para producir energía eléctrica en los paneles solares es la radiación para que de esta manera se produzca el efecto fotovoltaico. En la ecuación (1) se calcula mediante HPS es el valor de horas pico solar donde R es el valor de irradiación e I la potencia de irradiación incidente.

$$HPS = \frac{R}{I} [h] \quad (1)$$

Para poder conocer el cálculo del total de energía generada por un panel fotovoltaico se utiliza la ecuación (2) donde I_{panel} es la corriente máxima que

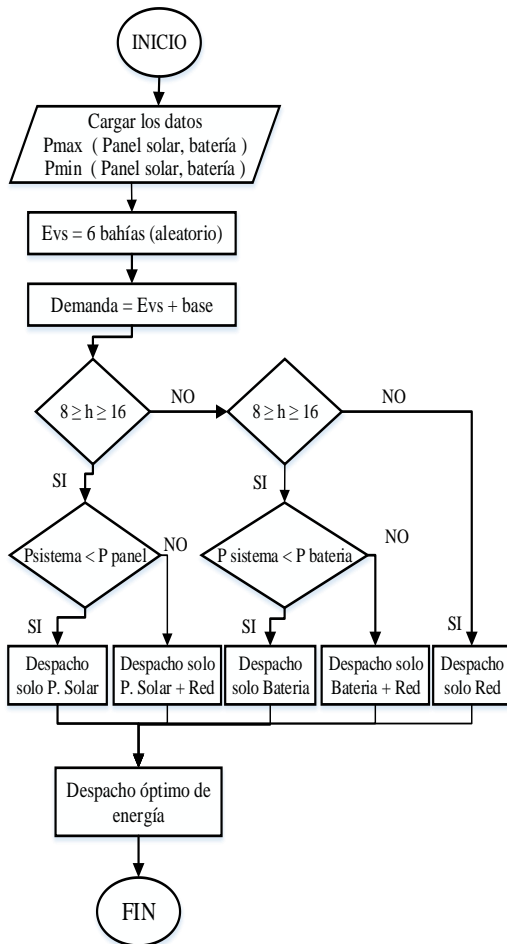


Figura 4. Flujograma heurística de despacho

En la Figura 5 se muestra el flujograma de la heurística para el óptimo despacho

alcanza el panel solar durante el día si el estudio se lo realiza cada 24 horas, el n_{panel} es el rendimiento del panel que generalmente oscila entre 85% y 95% y el HPS es el valor de horas pico solar que lo calculamos en la ecuación (1).

$$E_{panel} = I_{panel} * HPS * n_{panel} \quad (2)$$

$$Pot_{panel} = V_{panel} * I_{panel} [W] \quad (3)$$

Se recomienda utilizar un rendimiento del 90% para calcular la energía del panel. Mientras que en la ecuación (3) se calcula la potencia que produce durante cada hora el panel donde I_{panel} es la corriente máxima de la hora y V_{panel} es el voltaje del panel solar. Los paneles solares de la estación de recarga tienen una capacidad de 100 kW para cubrir con la demanda de los EVs.

2) Comportamiento del Banco de batería

Para calcular el consumo máximos del banco de baterías que vamos a utilizar en las estaciones de recarga se utiliza la ecuación (4) donde E_{ins} es la corriente de consumo de carga, Vol_{bat} es el voltaje en el banco de baterías del sistema fotovoltaico y la corriente instantánea esta expresada en $Inst$.

$$E_{ins} = \frac{E_{max-Inst}}{Vol_{bat}} \quad (4)$$

El consumo no siempre es el mismo y varia durante cada da por lo que recomiendan aumentar el 20% al consumo más alto para evitar que el sistema falle, la corriente máxima está definida como E_{maxima} y se calcula como se indica en la ecuación (5).

$$E_{maxima} = (1.2) * E_{ins} \quad (5)$$

Como se mencionó anteriormente las baterías tienen un porcentaje de pérdidas para calcular dichas pérdidas se debe

utiliza la ecuación (6) como se indica a continuación:

$$K_{TOTAL} = [1 - (K_R + K_{RC} + K_{RR} + K_X)] * \left[1 - \frac{(K_{Ba} * dia)}{Descarga} \right] \quad (6)$$

K_{TOTAL} es la pérdida total, K_R es el rendimiento que tiene la batería entre la literatura se utiliza un 5% y un 10% si la batería es vieja, mientras que K_{RC} es el rendimiento del convertidor y K_X son perdidas que no han sido tomadas en cuenta y se recomienda dar el valor de 10%. K_{Ba} es la pérdida por auto-descarga, mientras que dia y $Descarga$ corresponde a los días que la instalación funciona sin que los paneles solares generen energía y la descarga profunda de la batería que ha llegado a tener.

El comportamiento de carga de las baterías cuando estén en horario de recarga como se muestra en la figura 3 se representa por la ecuación (7)

$$f(x) = f_o + \frac{K}{x - b} \exp\left(\frac{a}{x - b}\right) \quad (7)$$

Los parámetros K, b y x corresponden al estado de carga de la batería, mientras que la expresión de la descarga y sobre descarga de las baterías viene explícitamente por la ecuación (8)

$$V(t) = V_{OD} - \int_0^t \frac{K_D o^8 D}{(t - u_{D1})^8 + (t - u_{D2})^6 + o^8 D} \quad (8)$$

En la ecuación (8) los subíndices D se refieren a las descarga, el V_{OD} es el voltaje inicial de la batería con la que empieza el proceso de descarga

3.2 Aleatoriedad demanda de vehículos eléctricos

La estación de recarga para baterías de los vehículos eléctricos poseen seis bahías o puntos de carga que son capaces de entregar energía simultánea, el análisis correspondiente se lo hace cada

hora es decir 24 veces por día, entonces la carga va hacer distinta y por consecuencia el despacho de energía también ocurrirá una modificación cada hora. Es poco probable en cada hora tener la misma demanda todos los días. A manera que la demanda es con alta incertidumbre, es decir no se tiene una demanda fija siempre para todas las horas por lo cual podemos tener horas donde estén ocupadas las 6 bahías de recarga y otra horas donde no existan demanda en ninguna bahía o solo estén ocupadas algunas de las bahías de la estación de recarga.

$$EVs_{potencia} \leftarrow LeerDatos() \quad (9)$$

$$Dem \leftarrow aleatorio (EVs_{potencia}) \quad (10)$$

En la ecuación (9) se cargan los datos de las potencias de las baterías de los vehículos eléctricos los cuales se comercializan a nivel mundial por las principales concesionarias, siguiendo el proceso de selección aleatoria de los posibles clientes para cada hora, en este proceso se aplica la ecuación (10) para que escoja aleatoriamente el programa realizado los vehículos que van a ingresar cada hora. Con este proceso se tenía asignada la demanda de carga para cada hora.

3.3 Despacho mediante heurística usando programación lineal

Mediante la heurística usando programación lineal se optimizo el despacho de energía en la estación de recarga de batería para vehículos eléctricos.

La función objetivo como se muestra en la ecuación (11) es minimizar los costos de las energías generadas en la electrolinera. La micro-red de la estación de recarga está conformada por un sistema fotovoltaico y banco de baterías; que ayudan para mitigar el impacto de los vehículos eléctricos en la red, también se toma en cuenta. La función objetivo viene dada por:

$$\min \sum (g, dh) (Data(g) * P(g, dh)) \quad (11)$$

Donde g son los datos de las potencias y costos de las fuentes que integran el sistema de la estación de recarga y dh es la demanda por horas que se obtuvo mediante la ecuación (10) mediante una aleatoriedad que dispone de 6 bahías con carga simultanea cada hora.

La función objetivo está en directamente relacionada con los costos de cada tipo de energía, tomando en cuenta las capacidad máximas y mínimas de las fuentes y este análisis se lo realiza 24 veces en el día es decir un despacho durante cada hora. Los costes fueron tomados de los pliegos tarifarios para empresas eléctrica del país que dan servicio de energía eléctrica correspondiente al período de Enero a Diciembre del 2016, donde se detallan dichas tarifas que fueron utilizadas en el despacho.

Previamente a la función objetivo primero se debe tener la tabla Data, en dicha tabla constan los datos de las potencias mínimas y máximas del sistema fotovoltaico, la capacidad de almacenamiento mínima y máxima del banco de baterías y la capacidad de la red eléctrica. La red eléctrica tiene la característica de tener una capacidad máxima ya que esta no tiene un tope por que entra al despacho cuando los dos sistemas anteriores no abastecen la demanda generada en la estación de recarga. A su vez en la tabla Data también está conformada por los costes de cada fuente de energía los cuales fueron detallados en la tabla 4.

Las potencias máximas y mínimas del sistema fotovoltaico se adquieren mediante el cálculo de la ecuación (3), estas potencias depende directamente de la cantidad de radiación de cada hora y el caso de estudio donde nos encontremos ya sea verano o invierno por que radica una diferente representativa en los índices de radiación, así mismo la

capacidad de las baterías que conforman el banco de baterías van a cambiar durante el día ya que hay horas donde las baterías estén en estado de carga y horas donde se encuentren en estado descargan, es decir existen momentos que entran en el despacho de energía y otro que no están disponibles y no se le toma en cuenta al banco de baterías para realizar la asignación de energía en la electrolinera como se puede observar en la Figura 3.

El ingreso de la segunda tabla, Data 2, la cual tiene la carga de las 24 horas de las baterías de los vehículos eléctricos que se realizó la selección de la aleatoriedad en la ecuación (10). Las potencias de los vehículos eléctricos que se utilizaron para la aleatoriedad están en la tabla 2. La variable que contiene los datos para la tabla Data 2 es dh que ya fue explicada anteriormente. Con el ingreso de las tablas Data y Data 2 se tienen todos los datos necesarios para realizar la asignación óptima de potencias y la optimización mediante la ecuación (11). Para completar con el proceso de la heurística con programación lineal nos faltan las restricciones de la optimización las cuales se expresan a continuación:

$$P_{min\ Panel} < (g, dh) < P_{max\ Panel} \quad (12)$$

$$P_{min\ Baterias} < P(g, dh) < P_{max\ Baterias} \quad (13)$$

$$P(g, dh) > P_{min\ Red\ Electrica} \quad (14)$$

Las restricciones que se indican en las ecuaciones (12)(13) y (14) corresponde a la potencia máxima y mínimas que estén disponibles correspondiente a cada hora, la energía entregada por los paneles solares solo va estar disponible en las horas de radiación solar que están entre 5 y 8 horas dependiendo del caso de estudio, así mismo el banco de baterías tiene que cumplir con ciclos de carga y descarga y la red eléctrica siempre va estar disponible ante una eventual falla o falta de energía eléctrica para abastecer a

los clientes que lleguen a la electrolinera a recargar las baterías de los vehículos eléctricos. La heurística del presente trabajo se la realizo mediante la conexión de los softwares Matlab-Gams, ya que Gams es un software con un alto nivel para resolver problemas de optimización.

3.4 Seudocódigo

Basado en el modelo planteado en esta investigación mediante la heurística de programación lineal, en la tabla 4 podemos observar el pseudocódigo donde se detalla el proceso en el cual podemos optimizar y realizar una asignación óptima de potencias en la micro-rede eléctrica que funciona en la estación de recarga de baterías para vehículos eléctricos.

Tabla 4: Heurística con programación lineal.

Heurística para el Óptimo Despacho de energía
Inicializa $t = (0:1:24)$
Inicializa g, dh
Primero: aleatoriedad 6 bahías de EVs en la electrolinera
$dh \leftarrow \text{aleatorio}(EVs_{potencia})$
Segundo: asignación de Pmax, Pmin, costos de fuentes de energía
Potencia maxima \rightarrow Paneles solares
Potencia maxima \rightarrow Banco de baterias
Potencia minima \rightarrow Paneles solares
Potencia minima \rightarrow Banco de Baterias
Potencia maxima \rightarrow Red electrica
costos \rightarrow fotorvoltaico, banco baterias, red
Tercero: restricciones
$P_{mix\ Panel} < (g, dh) < P_{max\ Panel}$
$P_{min\ Baterias} < P(g, dh) < P_{max\ Baterias}$
$P(g, dh) > P_{min\ Red\ Electrica}$
Cuarto: Optimización de recursos
For 1: t
$\min \sum (g, dh), ((g) * P(g, dh))$
end
caso1 = despacho _{verano}
caso2 = depachos _{invierno}
Quinto: gráfica
Plot (t, caso1)
Plot (t, caso2)

El fin de la heurística para el óptimo despacho de energía de una estación de recarga para baterías de vehículos eléctricos es minimizar los costos optimizando los recursos y a su vez reduciendo impacto de la nueva carga que se genera mediante la carga de las baterías, en el proceso la energía renovable tiene preferencia en el despacho.

4. Análisis de resultados

El análisis de resultados obtenidos tiene como objetivo realizar una asignación de potencia en una electrolinera utilizando micro-redes, mediante la heurística de despacho con programación lineal como se detalló anteriormente.

4.1 Demanda electrolinera.

La inserción de los vehículos eléctricos se ve afectada la curva de demanda por el incremento de potencia. Como primer resultado obtenido es las diferentes cargas en las 6 bahías disponibles en la electrolinera como se muestra en la Figura 6.

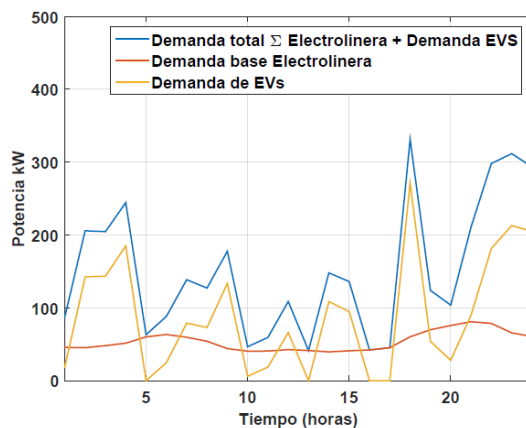


Figura 5. Aleatoriedad de vehículos eléctricos

En la Figura 6 se observa tres curvas diferentes, la curva de color rojo corresponde a la demanda base de la electrolinera es decir es su consumo básico de energía eléctrica para que pueda operar normalmente brindando servicios básicos y adicionales a los clientes para que ocupen su tiempo en diferentes actividades mientras sus

vehículos se recarga, por otro lado la curva de tono amarillo es la representación de la aleatoriedad de los vehículos eléctricos, es decir la demanda de carga por cada hora en un día; se puede observar que existen horas sin demanda de energía es decir no están siendo utilizadas las bahías de recarga de la estación, por el contrario hay momentos donde las bahías están funcionando a su totalidad, y otras ocasiones donde están ocupadas algunas de sus bahías. Y por último la curva de color azul es la nueva demanda de carga que adquiere la electrolinera.

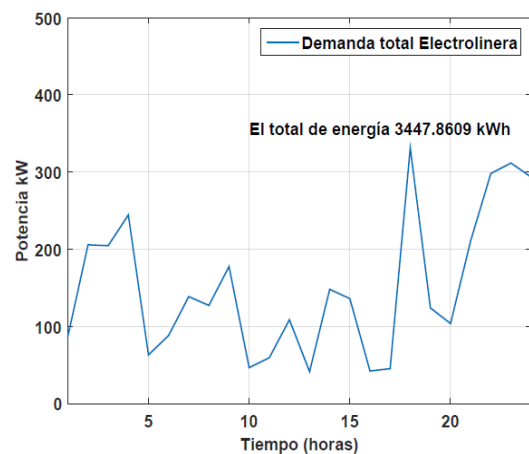


Figura 6. Demanda Total electrolinera

Con la implementación de la carga de los vehículos eléctricos la curva de la estación de recarga se va a modificar, entonces la nueva curva de demanda de la electrolinera se puede observar en la Figura 7.

La nueva curva de demanda que se generó en la electrolinera está compuesta por la suma de la demanda base que tenía en un inicio la estación de recarga, más la potencia de las baterías de los vehículos eléctricos que pasaron por el proceso de aleatoriedad para tener una demanda en cada hora del día y sin olvidar la adición de carga del banco de baterías que se lo realiza en horario nocturno. Haciendo una comparación entre la Figura 4 que es la curva de demanda sin la carga de las baterías de los vehículos eléctricos es una

modificación con pico importantes de potencia.

La energía que la electrolinera como base necesita es 1244.2109 kWh cuando la aleatoriedad de los vehículos eléctricos ingresa la energía incrementa a 3447.8609 kWh por lo que es un aumento considerable.

Usando la nueva curva de demanda de la electrolinera generada por la recarga de vehículos eléctricos se procederá a realizar el despacho de energía previamente debemos analizar dos casos, el primero caso es en verano donde existe mayor radiación y el segundo caso es en invierno donde la radiación es mucho menor.

4.2 Casos de estudio verano e invierno.

La inserción en el mercado eléctricos los puntos de recarga para baterías de los vehículos eléctricos promete si bien es cierto mejorar los problemas ambientales de contaminación pero también incrementa la curva de demanda como se detalló previamente especialmente en horas pico donde las generadoras tendrán que abastecer una mayor demanda causando inconvenientes a las distribuidoras.

Por lo expuesto anteriormente en la presente investigación se trabajó en una asignación de potencias minimizando los costes y optimizando el despacho de la energía.

Las estación de recarga tienen un diseño principal donde se encuentra la generación de energía fotovoltaica, un sistema de banco de baterías; que trabajan conjuntamente para cubrir gran parte de demanda que necesite la electrolinera y también tendrá en el diseño la conexión a la red eléctrica de distribución.

Así mismo el despacho en la electrolinera tendrá preferencia la energía renovable como es lógico y concuerda con lo propuesto en esta investigación. La energía que primero se

consume para la recarga del vehículo eléctrico o el abastecimiento de las necesidades básicas de la estación de recarga será con la electricidad generada a través de los paneles solares y la última opción será la energía de la red eléctrica para que de esta manera no se vea afectada la curva de demanda de la red eléctrica en horas pico, a esto también se suma el abastecimiento de energía por medio del banco de baterías que también integra el sistema de energías no convencionales.

1) Resultados del caso de estudio en verano

En el resultado del caso de estudio en verano se puede observar en la Figura 8 que el sistema fotovoltaico entrega energía durante la mañana y gran parte de la tarde cubriendo la mitad de la demanda de energía en la estación de recarga su generación de energía eléctrica es excelente debido a los altos índices de radiación solar que se obtuvieron en este caso de estudio, por el otro lado también se puede observar que el banco de baterías cumple su ciclo de carga y descarga. A su vez se puede observar que la producción de energía eléctrica en las horas de alta demanda que son a partir de las 5 de la tarde no aportan por el escaso índice de radiación solar, la ventaja es que la capacidad del banco de baterías está al máximo y este sistema fue el encargado de cubrir con la demanda a pesar que se tuvo que recurrir a la red de energía eléctrica.

La fuente de energía renovable y el banco de baterías funcionan cubriendo la mayor parte de la energía eléctrica demandada en las horas pico recurriendo a la red eléctrica para cubrir la falta de energía con niveles muy bajos de potencia en las horas picos.

A partir de las 21 horas tanto el panel solar como el banco de baterías se desconectan y la demanda de la electrolinera cubre toda su totalidad la red eléctrica tomando en consideración que la red en horas nocturnas tiene poca demanda de energía y los costos son

menores. Además el banco de baterías entra en un estado de recarga en horas de la noche por lo que consume energía de la red eléctrica, el impacto es menor ya que se recarga lentamente.

Con el estudio es en verano la radiación solar es alta llegando a tener pico alto de radiación como se indicó en la Figura 2, eso ayuda a cubrir gran parte de la demanda durante las principales horas del día.

Las horas donde mayor radiación existe los paneles solares aprovecha los altos índice de radiación para la generación de energía eléctrica de esta manera cubrir la mayor demanda de la electrolinera como se observa en la figura 8.

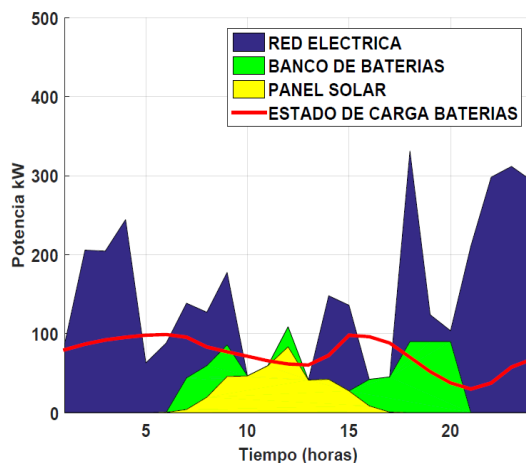


Figura 7. Despacho óptimo de energía - caso de estudio verano

Para realizar un análisis más a detalle para especificar cuanto aporta el sistema de energía renovable y el sistema de almacenamiento se indica en la Figura 9. Se observa claramente que la curva de demanda se ve disminuida gracias a la gestión de energía que se realiza, la energía total liberada es de 873.54 kWh, lo que representa un 30% aproximadamente del total de energía demanda por la estación de recarga a lo largo del día de estudio que se realizó tomando en cuenta la aleatoriedad de los vehículos eléctricos y los índices de radiación. Este porcentaje de energía es liberada de la red eléctrica en horas del día cuando existe la mayor cantidad de demanda, de esta forma ayudaríamos a

mitigar el impacto de los vehículos eléctricos.

El total de energía demandada por la estación de recarga a la red de distribución es de 3447.8609 kWh, gracias a la generación del sistema fotovoltaico y al almacenamiento de energía eléctrica en los bancos de baterías la electrolinera solo va a necesitar 2574.3209 kWh, en otras palabras al realizar esta gestión de asignación de recursos alivio el 30% de la carga la red de distribución.

Los 873.54 kWh de energía liberada de la red eléctrica de distribución evitamos congestionar puntos estratégicos del sistema eléctrico afectando la calidad y fiabilidad del sistema.

El 30% que aporta los sistemas no convencionales a la red eléctrica se traducen a una reducción de las emisiones de gases contaminantes que las generadoras provocarían al medio ambiente. Analizando desde otro punto de vista significaría que hay menos vehículos de combustión interna y más EVs, tomando en cuenta que los vehículos tradicionales emiten grandes cantidades de CO₂ al año, y ellos son unos de los principales contaminantes y causantes del calentamiento global.

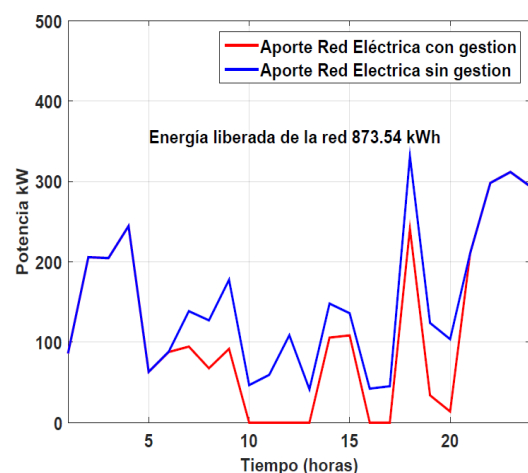


Figura 8. Liberación de energía a la Red eléctrica de distribución en verano

En la figura 9 se expresa mediante la curva de color azul la demanda total de la electrolinera con la inserción de la

carga de los vehículos eléctricos sin tener una gestión apropiada, por otro lado en la misma figura se observa la curva con tonalidad roja la cual representa la gestión utilizando el sistema de micro-redes y la diferencia que marca cuando se efectúa una correcta gestión para aminorar el impacto de los EVs en la red eléctrica.

2) Resultado del caso de estudio en invierno

En el caso de estudio de invierno se tiene que tomar en cuenta que el índice de la radiación solar disminuye considerablemente como se indica en la Figura 2, como consecuencia la producción de potencia por efecto fotovoltaico de los paneles solares es menor en comparación con el caso anterior que se realizaba el análisis en verano. Por otro lado la capacidad del banco de baterías es el mismo manteniendo los estados de carga y descarga durante el día como se indica en la Figura 3, además cumple el mismo mecanismo de carga utilizando la energía de la red eléctrica en hora nocturnas y en horas del día la energía generada por el panel solar.

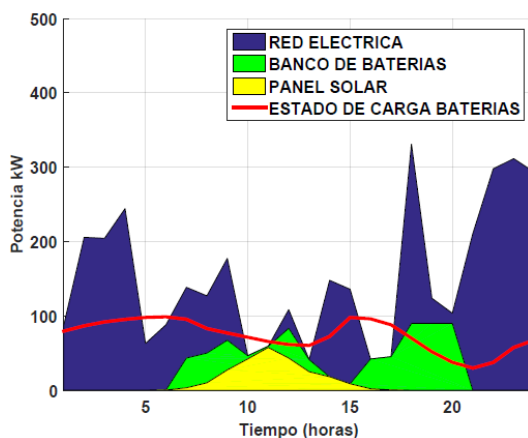


Figura 9. Despacho óptimo de energía - caso de estudio invierno

El despacho óptimo de energía en el caso de estudio de invierno se indica en la Figura 10, como se puede observar la generación de energía eléctrica por medio del sistema fotovoltaico funciona

para cubrir las horas del mediodía, la mañana y unas pocas horas de la tarde, teniendo su pico máximo de producción a las 11 de la mañana.

El despacho de energía del sistemas fotovoltaico y el banco de baterías es casi el mismo en las horas de la mañana, mientras que el banco de baterías se encarga de despachar toda su capacidad para cubrir con la demanda en la horas pico de la tarde reduciendo el impacto de la carga de baterías de los vehículos eléctrico.

A pesar de la baja generación de energía eléctrica por medio de los paneles fotovoltaicos existe periodos de tiempo donde el gestión óptimo de recurso logra cubrir su totalidad sin necesidad de recurrir a la red eléctrica de distribución por el otro lado existe periodos de tiempo donde el banco de baterías está en un estado de carga preparándose para las horas punta, la producción de energía eléctrica por el efecto fotovoltaicos está en un nivel muy bajo debido a la poca radiación, el sistema opta por recurrir a la red eléctrica para lograr cubrir la demanda existente durante ese periodo de tiempo.

En la figura 10 y la figura 8 la curva expresada en tonalidad roja representa el estado de carga (SOC) de las baterías, la misma que indica cuando la batería está en un estado de carga la curva empieza a incrementar y en el otro caso el estado de descarga cuando la curva descende. Entonces las baterías entran en estado de carga en dos ocasiones durante el día, la primera a las 13h00 y la segunda a las 21h00 horas.

De la misma manera que se realizó el análisis en el caso de estudio en verano, el impacto de carga de los vehículos eléctricos en la red eléctrica de distribución es mayor en invierno por que se disminuye la radiación solar.

Se puede observar en la Figura 11 que se tiene una cantidad de 777.3939 kWh de energía aportada por los sistemas de energía fotovoltaica y de

almacenamiento, este aporte para la liberación de energía representa un 25% aproximadamente de evitar el uso de la red eléctrica en horas del día donde existe un mayor consumo. La gestión de la energía se lo realiza en horas del día especialmente cuando se presentan picos de energía significativos. Logrando un 100% en varios periodos de tiempo liberar energía de la red eléctrica de la red.

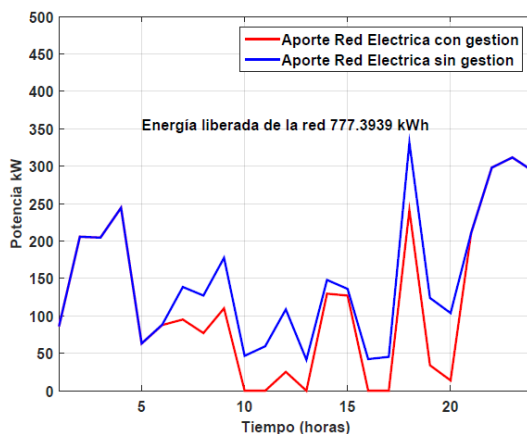


Figura 10. Liberación de energía a la Red eléctrica en invierno

Los 777.3939 *kWh* de energía liberada por las micro-redes en invierno ayudan a mantener los niveles de calidad en el suministro de energía a cada usuario, así mismo el 25% de aporte por medio de las energías no convencionales para liberar de la red dicha demanda proviene de la generación del sistema fotovoltaico el cual es libre de emisiones de gases contaminantes ayudando así a evitar el calentamiento global.

5. Conclusiones

La demanda de energía eléctrica de la electrolinera a la red de distribución es de 3447.8609 *kWh* con la gestión de energía se disminuyó 873.54 *kWh* de la demanda en verano y en el caso de estudio de invierno el aporte de la micro-red es de 777.3939 *kWh*, se concluye que el despacho de energía contribuye para mitigar el impacto de los vehículos eléctricos.

La heurística propuesta redujo el impacto de los vehículos eléctricos a la red de distribución en un 30 % en verano con niveles altos de radiación y un 25 % en invierno con menos horas de luz solar mediante el despacho óptimo de energía no convencional y de la red eléctrica.

La energía liberada en la red de distribución con la ayuda de las micro-redes no solo aportamos para mitigar entre el 25 y 30 % la inserción de los vehículos eléctricos sino también en el desarrollo de nuevas tecnologías.

En horas importantes de alto consumo se logró reducir un 100% de la carga a la red eléctrica mediante la gestión usando las micro-redes.

Durante el día las baterías entran en SOC dos veces para garantizar que no se descarguen más del 35 por ciento del estado de carga, como también la heurística no permite que se cargue por encima del 80 por ciento del estado de carga.

El ingreso de carga de vehículos eléctricos se puede implementar como respuesta a la demanda, si la recarga de estos se las realizaría en horas valle de demanda, consiguiendo de esta manera que sean una solución a la red mas no un problema, esto se puede lograr mediante una gestión de carga de baterías de vehículos eléctricos.

La incorporación de los vehículos eléctricos al sistema eléctrico es posible sin afectar la curva base de demanda mediante el uso de micro-redes en las estaciones de recarga con el fin de evitar el ingreso de nueva carga perjudicando especialmente en horas pico.

El sistema fotovoltaico es una energía renovables, que se encuentra en un desarrollo notable, confiable, con bajo mantenimiento y es un alternativa viable, conjuntamente se debe instalar un sistema de almacenamiento para realizar una mejor gestión, esto ayudara a reducir los costos de la estación de recarga y el alivio de carga para la red eléctrica.

El índice de radiación solar varía en los casos de estudio realizado por lo cual no genera suficiente energía eléctrica el sistema fotovoltaico y como consecuencia no se logra cubrir la demanda de la carga de baterías de los vehículos eléctricos.

Para que una electrolinera pueda entrar en funcionamiento, estas deben tener algún tipo de generación de energía no convencional, con el fin de mitigar el impacto a las redes de distribución despachando la carga de vehículos eléctricos únicamente con energías renovables.

Para conformar un óptimo despacho de la energía se toma en cuenta las capacidades máximas y mínimas del sistema fotovoltaico y de baterías, los precios de cada una de las fuentes de energía de la electrolinera, dentro de los costos se desglosa el pago por potencia, el costo de la energía y los gastos de la estación de recarga en general.

A pesar que los vehículos eléctricos son una opción para ayudar a reducir la emisión de gases contaminantes a la atmósfera, falta incentivos por parte del gobierno local para que la población tenga más opciones de cambiar de vehículos de combustión por eléctricos como lo hacen los gobiernos europeos, por lo contrario en nuestro país se cobra la carga de vehículos eléctricos en potencia y energía.

6. Referencias

- [1] W. Alharbi and K. Bhattacharya, "Electric Vehicle Charging Facility as a Smart Energy Microhub," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. PP, no. 99, pp. 616–628, 2016.
- [2] S. S. Raghavan, "Impact of demand response on electric vehicle charging and day ahead market operations," *2016 IEEE Power Energy Conf. Illinois, PECI 2016*, pp. 1–7, 2016.
- [3] H. Wang, "Microgrid generation planning considering renewable energy target," in *2016 IEEE International Conference on Power and Energy (PECon)*, 2016, pp. 356–360.
- [4] M. O. Badawy and Y. Sozer, "Power flow management of a grid tied PV-battery powered fast electric vehicle charging station," *2015 IEEE Energy Convers. Congr. Expo. ECCE 2015*, vol. 53, no. 2, pp. 4959–4966, 2015.
- [5] M. Crow and M. Maigha, "Cost-Constrained Dynamic Optimal Electric Vehicle Charging," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 3029, no. c, pp. 1–1, 2016.
- [6] E. Adrian, J. Juca, E. Marcelo, and G. Torres, "EFICIENCIA ENERGÉTICA MEDIANTE SISTEMAS SCADA PARA EL CONTROL DE LA DEMANDA DE UNA RESIDENCIA," Universidad Politécnica Salesiana, 2015.
- [7] L. Barragan and E. M. Garcia, "Modelo multiobjetivo de planificación de transmisión bajo incertidumbre basado en una optima respuesta de la demanda," Universidad Politecnica Salesiana, 2016.
- [8] G. Ayala and E. M. Garcia, "Respuesta de la demanda eléctrica basado en el modelo Markoviano," Universidad Politecnica Salesiana, 2016.
- [9] Á. R. Mateo, "Evaluación del impacto de los vehículos eléctricos en las redes de distribución," *Univ. Pontif. Comillas. Esc. técnica Ing. Ing. Ind.*, p. 143, 2010.
- [10] P. Daniel Jacho Topón autorizo and P. Daniel Jacho Topón, "MODELAMIENTO PARA EL ALMACENAMIENTO Y APOORTE DE ENERGÍA A LA RED EN HORAS PICO DE

- DEMANDA MEDIANTE UN PROTOTIPO,” 2015.
- [11] J. García-Villalobos, I. Zamora, J. I. San Martín, F. J. Asensio, and V. Aperribay, “Plug-in electric vehicles in electric distribution networks: A review of smart charging approaches,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 38, pp. 717–731, 2014.
 - [12] D. Carrión, García E Marcelo, J. W. González, and G. J. López, “Método Heurístico de Ubicación Óptima de Centros de Transformación y Enrutamiento de Redes Eléctricas de Distribución,” *Rev. Tec. “energía”*, no. January, 2017.
 - [13] E. M. Garcia, “Diagnóstico de la demanda de consumo de energía eléctrica en un smart home, enfocado en el sector residencial de Quito, durante el año 2015, Barrio la Kennedy. Caracterización y optimización del consumo de energía eléctrica,” Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2016.
 - [14] E. M. Garcia, A. Águila, I. Isaac, J. W. González, and G. López, “Analysis of Voltage Profile to determine Energy Demand using Monte Carlos algorithms and Markov Chains (MCMC),” in *51st International Universities’ Power Engineering Conference*, 2016, no. Mcmc.
 - [15] O. Van Vliet, A. S. Brouwer, T. Kuramochi, M. Van Den Broek, and A. Faaij, “Energy use, cost and CO2 emissions of electric cars,” *J. Power Sources*, vol. 196, no. 4, pp. 2298–2310, 2011.
 - [16] T. S. Castro, T. M. de Souza, and J. L. Silveira, “Feasibility of Electric Vehicle: Electricity by Grid ?? Photovoltaic Energy,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 69, pp. 1077–1084, 2017.
 - [17] H. Liu, M. Niu, and W. Wang, “Reserving charging strategy for electric vehicles based on combined model of road-charging station-electric vehicle,” *2016 IEEE 2nd Annu. South. Power Electron. Conf. SPEC 2016*, no. 2, p. 65DUMMY, 2017.
 - [18] M. B. Arias, M. Kim, and S. Bae, “Prediction of electric vehicle charging-power demand in realistic urban traffic networks,” *Appl. Energy*, vol. 195, pp. 738–753, 2017.
 - [19] E. M. Garcia and I. Isaac, “Demand response systems for integrating energy storage batteries for residential users,” in *Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM), IEEE*, 2016.
 - [20] D. Tasinchana and E. M. Garcia, “Predicción con series de tiempo para la optimización de la demanda eléctrica residencial,” Universidad Politecnica Salesiana, 2015.
 - [21] J. C. Mukherjee and A. Gupta, “A Review of Charge Scheduling of Electric Vehicles in Smart Grid,” *IEEE Syst. J.*, vol. 9, no. 4, pp. 1541–1553, 2015.
 - [22] M. Simbaña and E. M. Garcia, “Optimización mediante el método de Montecarlo de la demanda eléctrica residencial,” Universidad Politecnica Salesiana, 2015.
 - [23] A. Awasthi, D. Chandra, S. Rajasekar, A. K. Singh, A.-D.-V. Raj, and K. M. Perumal, “Optimal infrastructure planning of electric vehicle charging stations using hybrid optimization algorithm,” *2016 Natl. Power Syst. Conf.*, pp. 1–6, 2016.
 - [24] W. Tang and Y. J. Zhang, “A

- Model Predictive Control Approach for Low-Complexity Electric Vehicle Charging Scheduling: Optimality and Scalability,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 32, no. 2, pp. 1050–1063, 2017.
- [25] D. Thomas, V. Klonari, F. Vallée, O. Deblecker, and C. S. Ioakimides, “Effect of electric vehicles’ optimal charging-discharging schedule on a building’s electricity cost demand considering low voltage network uncertainties,” *IEEE PES Innov. Smart Grid Technol. Conf. Eur. ISGT Eur.*, pp. 4–9, 2016.
- [26] V. Tikka, “Electric Vehicle Smart Charging Aims for CO₂ Emission Reduction ?,” 2016.
- [27] E. Inga, D. Carrión, A. Aguila, E. M. García, and R. Hincapié, “Minimal Deployment and Routing Geographic of PMUs on Electrical Power System based on MST Algorithm,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 14, no. 5, pp. 2264–2270, 2016.
- [28] M. Ortiz and E. M. Garcia, “Pronóstico de la demanda eléctrica residencial basado en el modelo de regresión adaptativa multivariante spline (MARS),” Universidad Politécnica Salesiana, 2015.
- [29] A. G. Córdova España, “Factibilidad para la integración de vehículos eléctricos al Sistema de Distribución Eléctrico,” Universidad Politécnica Salesiana, 2015.
- [30] B. Kim, “Smart charging architecture for between a plug-in electrical vehicle (PEV) and a smart home BT,” *Int. Conf. Connected Veh. Expo*, pp. 306–307, 2013.
- [31] R. Villafafila-robles, F. Girbaullistuellla, P. Olivella-rosell, A. Sudria-andreu, and J. Bergas-jane, “Assessment of impact of charging infraestructure for electric vehicles on distribution networks,” 2010.
- [32] D. T. Hoang, P. Wang, D. Niyato, and E. Hossain, “Charging and discharging of plug-in electric vehicles (PEVs) in vehicle-to-grid (V2G) systems: A cyber insurance-based model,” *IEEE Access*, vol. 5, pp. 732–754, 2017.
- [33] V. Tikka and A. Lana, “CONTROL OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING IN DOMESTIC REAL ESTATES AS PART OF DEMAND RESPONSE FUNCTIONALITY,” *CIREDD Work.*, vol. 2006, no. June, pp. 63–66, 2016.
- [34] Z. Liu, F. Wen, and G. Ledwich, “Optimal planning of electric-vehicle charging stations in distributions systems,” *Power Deliv. IEEE Trans.*, vol. 28, no. 1, pp. 102–110, 2013.
- [35] J. Heuer, P. Komarnicki, and Z. A. Styczynski, “Integration of Electrical Vehicles into the Smart Grid in the Harz . EE-mobility Research Project,” *Power Energy Soc. Gen. Meet. 2011 IEEE*, pp. 0–5, 2011.
- [36] B. Oña and E. M. Garcia, “Uso eficiente del consumo de energía eléctrica residencial basado en el método Montecarlo,” Universidad Politécnica Salesiana, 2015.
- [37] P. Moreno and E. M. Garcia, “Respuesta a la Demanda para Smart Home Utilizando Procesos Estocásticos,” *I+D Tecnológico*, 2016.
- [38] Torres López Alejandro, “Sistema de carga de paneles solares con baterías de autos eléctricos,” Instituto

- Politecnico Nacional Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, 2013.
- [39] X. Wu, X. Hu, S. Moura, X. Yin, and V. Pickert, "Stochastic control of smart home energy management with plug-in electric vehicle battery energy storage and photovoltaic array," *J. Power Sources*, vol. 333, pp. 203–212, 2016.
 - [40] R. H. Ashique, Z. Salam, M. J. Bin Abdul Aziz, and A. R. Bhatti, "Integrated photovoltaic-grid dc fast charging system for electric vehicle: A review of the architecture and control," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 69, no. October 2016, pp. 1243–1257, 2016.
 - [41] H. Fathabadi, "Novel solar powered electric vehicle charging station with the capability of vehicle-to-grid," *Sol. Energy*, vol. 142, pp. 136–143, 2017.
 - [42] R. Romo and O. Micheloud, "Power quality of actual grids with plug-in electric vehicles in presence of renewables and micro-grids," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 46, pp. 189–200, 2015.
 - [43] Y. Zhou, D. Yau, P. You, and P. Cheng, "Optimal-Cost Scheduling of Electrical Vehicle Charging under Uncertainty," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3053, no. c, pp. 1–1, 2017.
 - [44] A. R. Bhatti, Z. Salam, and R. H. Ashique, "Electric Vehicle Charging Using Photovoltaic based Microgrid for Remote Islands," *Energy Procedia*, vol. 103, pp. 213–218, Dec. 2016.
 - [45] S. Baldi, A. Karagevrekis, I. T. Michailidis, and E. B. Kosmatopoulos, "Joint energy demand and thermal comfort optimization in photovoltaic-equipped interconnected microgrids," *Energy Convers. Manag.*, vol. 101, pp. 352–363, Sep. 2015.
 - [46] K. A. Baharin, H. A. Rahman, M. Y. Hassan, C. K. Gan, and M. F. Sulaima, "Quantifying Variability for Grid-connected Photovoltaics in the Tropics for Microgrid Application," *Energy Procedia*, vol. 103, pp. 400–405, Dec. 2016.
 - [47] "Secretaría de Ambiente de Quito - Medición Índice UV." [Online]. Available: <http://modelos.quitoambiente.gob.ec/ultravioletas/>. [Accessed: 26-May-2017].
 - [48] C. Morente F., "Análisis y modelado del comportamiento de baterías para vehículos eléctricos," 2015.
 - [49] J. L. Balenzategui, "Informes Técnicos Ciemat Aproximación al Modelado de los Procesos de Carga y Descarga en Baterías Electroquímicas mediante Ecuaciones Integrales," 1999.
 - [50] G. Caneponi, F. Cazzato, M. . Di-Clerico, S. Cochi, M. C. Falvo, and M. Manganelli, "Planning studies for active distribution grids in presence of EVs charging stations: simulation on a real test network," *Cigre SC-C6*, pp. 1133–1137, 2016.
 - [51] A. Muharam, M. Pratama, K. Ismail, S. Kaleg, M. R. Kurnia, and A. Hapid, "A development of smart metering infrastructure for Electric Vehicle charging point," *2016 Int. Conf. Sustain. Energy Eng. Appl.*, pp. 27–33, 2016.
 - [52] "Pliego-y-Cargos-Tarifarios," *ARCONEL*, 2016.